

Кружков, В.В. Кобахидзе, И.А. Прибытков, А.В. Егоров, Ю.П. Филимонов. – Москва, 2002. – 734 с.

6. Пирометаллургия меди [Текст] / В.П. Жуков, Г.В. Скопов, С.И. Холод. – Екатеринбург: Служба оперативной полиграфии АХУ УрО РАН, 2016. – 640 с.

7. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии [Текст] / В.В. Кобахидзе. – Москва, 1994.

8. Тупоногов В.Г. Современные теплообменные аппараты [Электронный ресурс]: Трубчатые и пластинчатые теплообменные аппараты / В.Г. Тупоногов. – Электрон. Дан. - УЭИ, УрФУ. – Режим доступа: <https://media.ls.urfu.ru>. - свободный.

9. Теплофизические свойства веществ: учебное пособие / В.Л. Советкин, Л.А. Федяева. – Свердловск: УПИ, 1990. – 140 с.

УДК 669

**Е. В. Лалетина, К. С. Шатохин**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС»», г. Москва, Россия

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ И ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT**

**Аннотация.** В работе было осуществлено моделирование струйного нагрева с помощью двумерной и трехмерной геометрии, с целью сравнения и выбора лучшей графики, которая позволила бы решить задачу быстрее, с более точными данными. При выборе графики для решения подобных задач необходимо определить постановку задачи, требуемый результат, а также временные рамки. Для решения данной задачи была выбрана программа *Ansys Fluent*, которая является мощным инструментом в области гидрогазодинамики. Программа *Ansys Fluent* обладает широким спектром возможностей и преимуществ. К примерам применения программы можно отнести задачи горения в печах, струйный нагрев металла, вентиляция в помещениях, моделирование в промышленных стоках и т.д. *Ansys Fluent* включает в себя сложные числовые решатели, которые позволяют получать точные результаты практически для любых задач.

**Ключевые слова:** струйный нагрев, металл, двумерная геометрия, трехмерная геометрия, осесимметричная постановка.

**Abstract.** In the research, jet heating was simulated using two-dimensional and three-dimensional geometry, in order to compare and select the best graphics that would allow solving the problem faster, with more accurate data. When choosing graphics for solving such problems, it is necessary to determine the formulation of the problem, the required result, and also the time frame. To solve this problem, the *Ansys Fluent* software was chosen, which is a powerful tool in the field of fluid dynamics. *Ansys Fluent* has a wide range of features and benefits. Examples of application of the program include the tasks of combustion in furnaces, jet heating of metal, ventilation in rooms, modeling in industrial effluents, etc. *Ansys Fluent* includes sophisticated numerical solvers that provide accurate results for almost any problem.

**Key words:** jet heating, metal, two-dimensional geometry, three-dimensional geometry, axisymmetric formulation.

Использовать двумерную или трехмерную постановку при решении задач в модуле моделирования Ansys? Этот вопрос является достаточно актуальным. Трехмерное моделирование является более ёмким и сложным, вдобавок оно предполагает существенные затраты процессорного времени на решение задачи, так же трехмерные результаты не всегда удобны для последующего использования. Двумерное моделирование проще в построении геометрии, оно позволяет получить результаты быстрее и лаконичнее. Для многих задач двумерное моделирование способно предоставить более точные результаты за короткий промежуток времени, однако это не всегда так.

При выборе трехмерной или двумерной постановки задачи необходимо учитывать геометрию элемента. Двумерная постановка задачи корректно работает для осесимметричных элементов: модель круглого сопла, цилиндра, болтового соединения.

Рассмотрим это на примере моделирования струйного нагрева металла струями высокотемпературного азота.

На рисунке №1 предоставлена модель одиночной щелевидной струи, в данном случае в ходе моделирования использовалась двумерная геометрия.

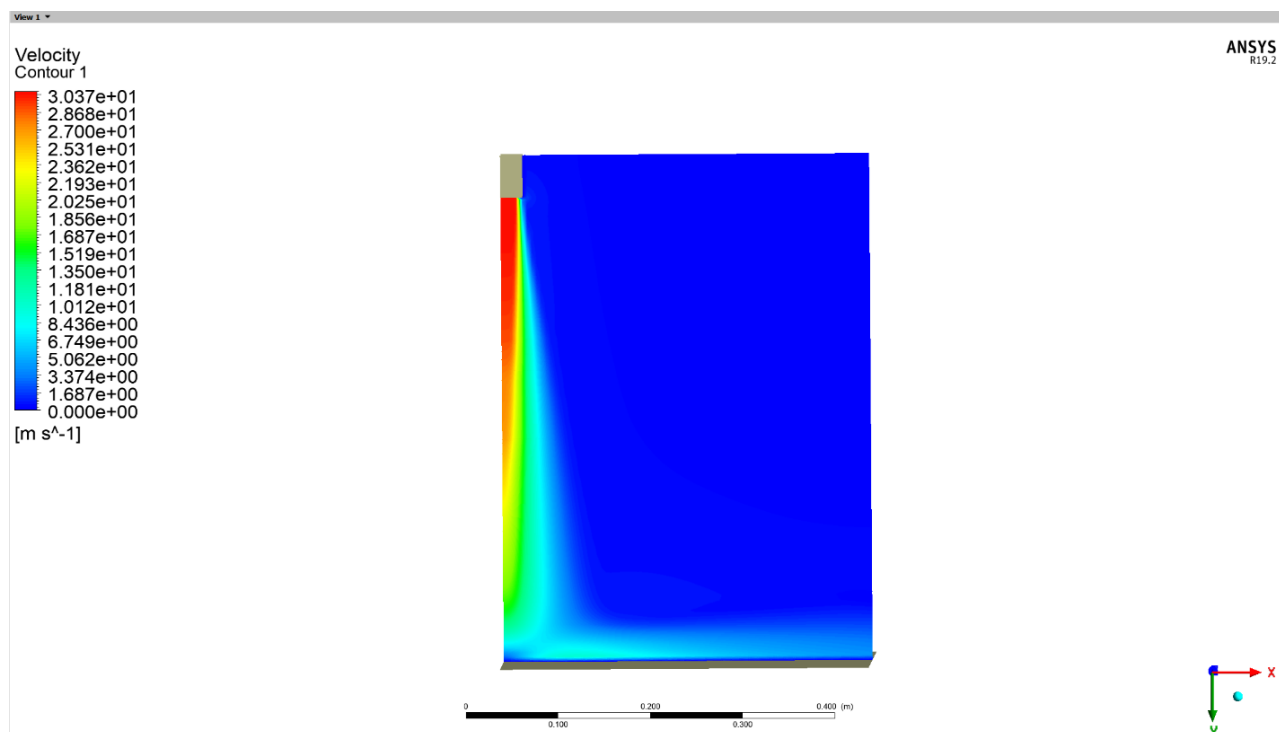


Рис. 1. Структура течения струи азота при взаимодействии с поверхностью при  $U_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $T_0 = 700^\circ\text{C}$ ,  $L \text{ сопла} = 44 \text{ мм}$ ,  $B \text{ сопла} = 28 \text{ мм}$

Как следует из рисунка 1, скорость истечения газа уменьшается по мере развития струи. В области начального участка струи сохраняется максимальная скорость движения азота, а в процессе растекания струи скорость потока снижается. Данный результат является адекватным и соответствует действительности.

В ходе моделирования системы щелевидных струй двумерная геометрия показала неадекватный результат. Двумерная модель проиллюстрировала, что поток центральной струи сильно смещает правую струю азота. Смещение струи наглядно продемонстрировано на рисунке 2.

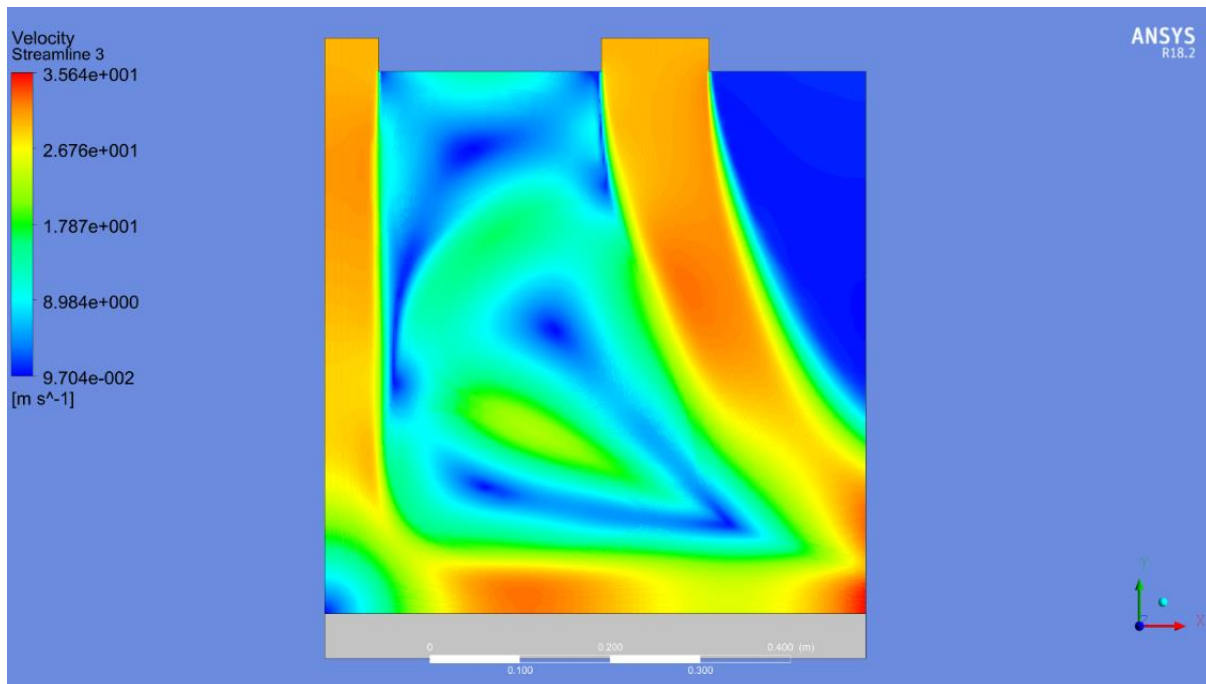


Рис. 2. Структура течения азота в системе струй при взаимодействии с поверхностью при  $U_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $T_0 = 700^\circ\text{C}$ ,  $L1 \text{ сопла} = 44 \text{ мм}$ ,  $B1 \text{ сопла} = 28 \text{ мм}$ ,  $L2 \text{ сопла} = 44 \text{ мм}$ ,  $B2 \text{ сопла} = 14 \text{ мм}$

Результат моделирования двумерной геометрии при не осесимметричной задаче показал, что использование двумерной геометрии не позволяет потоку рассеяться на  $360^\circ$ . В этом случае пространство можно представить в виде полотна, а ударяющийся о стенку поток имеет выход только направо или налево, и, поскольку центральная струя не может уйти никуда, кроме как направо, она отклоняется к соседней струе и сильно смещает ее.

Ниже представлена система щелевидных устройств, смоделированная в трехмерной геометрии. На рисунке наглядно видно, что трехмерная геометрия позволяет потоку рассеяться, поэтому потоки азота практически не взаимодействуют между собой. Поток азота расходится во все стороны, и только малая его часть идет на сдувание правой струи.

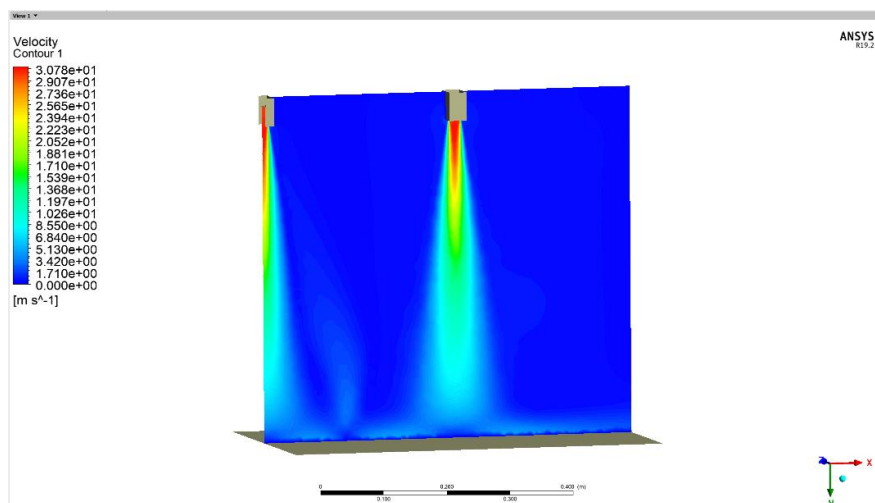


Рис. 3. Структура течения азота в системе струй при взаимодействии с поверхностью при  $U_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $T_0 = 700^\circ\text{C}$ ,  $L1$  сопла = 44 мм,  $B1$  сопла = 28 мм,  $L2$  сопла = 44 мм,  $B2$  сопла = 14 мм

Для осесимметричной геометрии решение задачи с помощью двумерной постановки значительно сэкономит время проведения расчета, повышая при этом точность. Осесимметричный анализ помогает точно предсказать концентрацию касательных напряжений трения в потоке, не прибегая для этого к подмоделированию, которое часто требуется при проведении более сложного 3D-расчета. Однако в случае моделирования не осесимметричных задач, следует применять трехмерную геометрию.

### Список использованных источников

1. Зиганшин А.М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent. – Казань: КГАСУ, 2013.
2. Fluent 6.3. HELP – руководство к программному комплексу.

УДК 632.151

**В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков, А. В. Лаптева**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЕМА

**Аннотация.** Для производства алюминия необходим глинозем. Глинозем получают из бокситов, нефелинов или алунитов в основном двумя способами спеканием и Байера. В связи с ожидаемым глобальным потеплением климата Земли и требуемым снижением эмиссии парниковых газов (углеродного следа продукции) целесообразно оценить углеродный след –